

## ‘생각하는 과학’ 프로그램의 변인활동이 초등학생의 변인통제 능력에 미치는 효과

한효순 · 최병순 · 강순민 · 박종윤\*  
(한국교원대학교) · (이화여자대학교)\*

### Effects of the Variable Activities in the ‘Thinking Science’ Program on the Ability of Variable-Controlling of Elementary School Students

Han, Hyosoon · Choi, Byung-Soon · Kang, Soonmin ·  
Park, Jong-Yoon\*

(Korea National University of Education) · (Ewha Womans University)\*

#### ABSTRACT

This is one of the basic research for inspecting the possibility of the development of logical thinking capability to make possible formal thinking. The 5th grade students (n=306) in the elementary school were participated in this study. Performing the 6 variable-controlling activities in the ‘Thinking Science’ program for one semester, the SRT II test and the Variable-Controlling test were operated to examine the effects on the development of the variable-controlling ability by treatments, gender, and cognitive levels.

Performing of the variable-controlling activities was highly successive on the development of students’ variable-controlling ability. Although learning effect on the ability of identifying causal variable was moderate, the abilities of controlling experimental condition, measurement of variable, and identifying result variable were significantly developed. There was statistically significant difference by gender. Girls showed better performance all the time in both groups. Boys in the experimental group were getting better gradually, so the difference by gender was somewhat decreased. Examining the variable-controlling ability by cognitive levels, students in the experimental group show significant increase in all levels, especially the students in early, mid, and mature concrete level show substantial learning effects. The results of this study implied that the variable-controlling activities in the ‘Thinking Science’ could be effective for learning of variable-controlling and eventually for the development of logical thinking capability to make possible formal thinking.

**Key words:** cognitive acceleration, cognitive level, elementary science, logical thinking, science reasoning ability, thinking science, variable-controlling

\*2002.4.12(접수) 2002.5.21(1차 수정) 2002.6.29(최종 통과)

\*\*본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-1999-0003350)지원으로 수행되었음.

## I. 서 론

학생들은 기초탐구능력인 관찰, 분류, 의사소통, 측정, 예상, 추리 등의 기본적인 탐색과정을 거쳐, 통합탐구능력인 변인찾기와 변인통제, 가설설정 및 검증, 조작적 정의, 실험수행, 자료해석, 모형구성의 과정을 통해 문제를 해결하고, 지식을 구성한다고 한다(AAAS, 1963; Karplus, 1977). 여러 가지 탐구요소 중 변인찾기 및 통제능력은 통합탐구과정의 기초적인 단계로 탐구문제의 인과관계를 밝히는데 필수적인 능력이다. 구체적 조작기에서는 가능한 모든 변인들을 열거해 보고 단순한 인과관계를 찾을 수 있으며, 형식적 조작기에서는 관계된 변인들을 개별적으로는 물론 종합적으로 생각하고, 그것들이 결과에 미치는 상대적인 기여도에 대해 논리적으로 접근하고 정확한 변인값을 구할 수 있는 능력이 나타나는 것으로 알려져 있다(Linn, 1980).

형식적 조작기에 나타나는 추론의 유형은 대략 여섯 가지로(변인통제논리, 보존논리, 비례논리, 조합논리, 확률논리, 상관논리) 분류되고 있으며(Inhelder & Piaget, 1958; Adey & Shayer, 1994), 이와 같은 논리적 사고력은 과학적 사고의 근간으로 과학적 지식의 이해와 과학 탐구활동 수행에 중추적인 역할을 한다. 이 중 변인통제능력은 문제상황의 모든 요소를 고려하여, 특정 요소를 조사하는 동안 다른 요소들은 체계적으로 고정하고, 이와 동일하게 나머지 요소들을 조사해 보는 능력으로, 15세 전후에 발달된다고 하며, 인지발달의 지표로 많이 이용되고 있다(Inhelder & Piaget, 1958). 단순변인 통제능력은 구체적 조작기에서, 복합변인 통제능력은 형식적 조작기에서 가능한 것으로 인지발달과 탐구과정과의 관계를 분석한 연구에서(Linn, 1980) 밝히고 있다.

학생들이 실험수행에서 실패하는 원인의 대부분은 그 실험에 관련된 변인이 무엇인지 파악하지 못하기 때문이라고 한다(Germann *et al.*, 1996). 실험과 관련된 여러 가지 변인들을 찾아내고, 고정변인을 통제하여 공정한 실험결과를 밝혀내는 능력은 인지발달 단계에서 형식적 조작기에 이르러서야 가능한 것으로 알려져 왔기 때문에, 이와 관련된 연구는 주로 중학

생을 대상으로 활발한 연구가 되어왔다(Griffiths & Thompson, 1993; Song & Black, 1992). 그러나 아동의 인지발달과 과학적 탐구능력과의 관련성에 대한 연구에 의하면 구체적 조작단계에서도 단순변인통제에 관련된 내용에 대한 학습이 가능한 것으로 보고(Germann & Odom, 1996)되고 있다. 아동의 인지발달과 과학적 탐구능력과의 관련성 연구(Wollman, 1977)에서도 단순변인 통제에 관련된 내용에 대한 학습이 구체적 조작기에서도 가능하기 때문에 초등학교에서부터 변인통제에 필요한 기초능력에 대한 학습이 이루어져야 한다고 한다.

과학 탐구능력 요소 중 실험활동에서 가장 많이 나타나는 가설설정, 변인찾기 및 통제, 관찰, 자료해석, 예상 등에 대한 학생들의 생각을 알아본 Griffiths와 Thompson(1993)의 연구결과에서 학생들은 독립변인이라는 것을 글자 그대로 실험과는 독립적으로 존재하는 것으로 해석하거나, 종속변인과 고정변인을 같은 것으로 이해하고, 변인통제란 실험을 조절하기 위한 것으로 이해하고 있는 사례가 많은 것으로 밝혀졌다.

학생들이 실험에 관련된 변인들을 조작적으로 진술하게 되면, 올바른 실험을 하기 위해 통제해야 할 것을 찾아 실험설계를 잘 할 수 있게 된다(Germann & Odom, 1996). 그러므로, 학생들이 탐구활동을 하는데 있어서 초기에 결정해야 하는 일 중 하나는 주어진 문제상황에 대답하기 위해 무엇을 조절하고(독립변인), 무엇을 측정하고(종속변인), 무엇을 같게 할 것(고정변인)인가에 관한 것이다(Duggan *et al.*, 1996; 이수진, 2000).

학생들이 과학을 어려워하는 주요 원인 중의 하나는 과학 교과내용이 요구하는 인지수준이 학생들의 인지수준에 비해 높기 때문이라는 연구결과(Shayer, 1972)가 나온 이후, 학생들의 인지수준에 맞추어 과학교과 내용을 조정하거나, 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교과 내용을 학습시키고자하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 우리나라에서도 중·고등학교의 과학 교과내용에는 형식적 조작기의 인지수준을 요구하는 것이 대부분인 반면, 학생들의 인지수준은 구체적 조작기에 있는 학생들의 비율이 높다고 보고된 바 있다(한종하 등, 1982; 문홍무와 최병순, 1987;

최병순, 1987; 최병순과 허명, 1987; 박종윤 등, 1993; 강순희 등, 1996; 박종윤과 강순희, 1996; 강순희 등, 1999). 이런 문제점에 대한 적극적인 대처방안으로 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교육의 효과를 증진시키려는 노력으로 영국의 Adey와 Shayer (1988)는 1970년대 초반부터 지금까지 과학교육을 통하여 학생들의 인지 발달을 가속시키는 과학교육 프로그램(Cognitive Acceleration through Science Education, 이하부터는 CASE라 약함)을 개발하고, 그 적용을 통해 인지발달 가속의 가능성을 시사하는 일련의 연구결과들을 꾸준히 발표해오고 있다. CASE는 구체적 조작기에 있는 초등학교 고학년과 중학교 저학년 학생들에게 과학교수-학습교재인 '생각하는 과학(Thinking Science)' (Adey et al., 1995)에 있는 활동을 2년 동안 수행하게 하여 형식적 조작이 가능한 인지수준에 도달하도록 도와주는 과학 교육 프로그램이다. '생각하는 과학'에 있는 30가지의 활동은 Piaget가 제시했던 형식적 사고에 필요한 10개의 스키마로 (변인통제, 비례 논리, 보상, 확률, 조합, 상관관계, 분류, 형식적 모형, 복합변인, 평형) 구성되어 있다.

우리나라에서는 CASE 프로그램을 적용해 보려는 일시적이고 단편적인 시도(김현재, 1991; 김현재와 장경래, 1991) 이후, 프로그램 개발자는 물론 그들과 함께 연구한 경험이 있는 과학교육자들의 노력과 활발한 교류로 장기적이고 포괄적인 연구가 현재 진행되고 있다(김영식, 1999; 홍현수, 2001; 김영준, 2001; 최미화, 2002; 남정희 등, 2002).

지금까지의 연구결과를 토대로 형식적인 사고를 가능하게 하는 논리적 사고력 형성은 변인통제 학습으로 증진될 수 있다는 가정을 갖고 본 연구에서는 다음과 같은 연구문제를 설정하였다. '생각하는 과학' 프로그램에 있는 변인통제 활동은; (1) 변인통제 활동은 변인통제 학습에 효과가 있는가? (2) 변인통제 능력의 하위요소인 원인변인, 결과변인, 실험조건 통제와 변인측정 학습에 어떤 효과가 있는가? (3) 학생들의 인지수준에 따라 변인통제 학습효과에 어떤 차이가 있는가?

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 연구 참여자

형식적 조작기의 학생들이 나타나기 시작하는 11세 정도의 초등학교 5학년 학생들을 연구대상으로 선정하였다. 경기도 파주시에 위치한 초등학교를 실험집단으로 택하고, 5학년 전체 4개 학급의 학생 150명에게 '생각하는 과학'에 있는 변인통제 활동을 정규 과학교육과정과 병행하여 지도했다. 변인통제 활동을 적용한 교사는 교육경력 18년인 중견교사로, CASE와 관련된 프로그램의 내용과 운영에 관한 각종 연수와 세미나에 참여하여 '생각하는 과학'에 있는 활동에 대한 교수법을 익혔다.

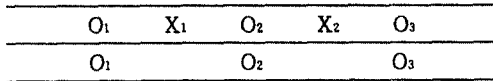
인근 지역의 유사한 환경의 초등학교를 통제집단으로 선정하여, 5학년 전체 6개 학급 중 임의로 4개 학급을 선정하였다. 이들의 과학수업은 10년 이상의 교육경력을 가진 각 학급의 담임 선생님이 교과서를 중심으로 정규 과학교육과정에 따라 과학을 가르쳤다.

연구 초기에 참여 학생수는 실험반 150명과 통제반 161명이었으나, 연구 도중 전학하거나, 결석 등으로 인해 최종 통계처리 결과가 유효한 학생은 실험반 146명과 통제반 160명이었다.

### 2. 연구 절차

과학적 사고력 검사도구 SRT II를 이용하여 학생들의 사전 인지수준을 판별하고 변인검사를 이용하여 사전검사를 실시하였다. 2001년 3월부터 7월까지 한 학기 동안 변인통제와 관련된 6개 활동을 실험반에서 수행하였다. 한 활동은 2차시 연속수업으로 이루어졌으며, 2주마다 한가지 활동씩 한 학기동안 12차시에 걸쳐 변인통제와 관련된 여섯 가지 활동을 진행하였다. 변인통제능력의 변화를 알아보기 위해 처치 중간과 사후에 변인통제능력 검사를 이질집단에 실시한 이 연구의 설계는 Fig. 1과 같다.

### 3. 수업 내용



O<sub>1</sub> : SRT II test, Variable-controlling test  
 X<sub>1</sub> : 3 variables-controlling activities  
 O<sub>2</sub> : Variable-controlling test  
 X<sub>2</sub> : 3 variables-controlling activities  
 O<sub>3</sub> : Variable-controlling test

Fig. 1. Pre-mid-post test control group design

우리나라 초등학교 교과서에 제시된 대부분의 실험은 주로 변인들 사이의 관계를 알아보는 데 목적이 있다. 이런 실험은 독립변인 이외의 모든 변인은 일정하게 유지하고 원인(독립) 변인에 따른 결과(종속) 변인을 관찰한 다음, 그 결과를 분석하여 두 변인들 사이의 원인과 결과의 관계를 밝히는 과정을 포함한다. 이와 같은 교육과정에 따른 과학 교과 수업과 '생각하는 과학'에 있는 변인통제 활동의 효과를 알아보기 위해 같은 양의 수업시간에 통제반에는 교육과정에 따른 과학교과 수업을 실시하였고, 실험반에서는 교육과정에 따른 과학교과 수업과 '생각하는 과학'에 있는 변인통제 활동을 병행하였다.

과학교육 전문가들로 구성된 CASE 연구모임에서 CASE 프로그램의 교수-학습활동 교재인 'Thinking Science' (1995)를 번역하여 '생각하는 과학'이라는 제목의 활동책자와 CASE 프로그램의 교육전략 (Adey & Shayer, 1994b; 최병순과 최미화, 1998; 한효순 2001)에 의거한 교사용 안내서를 제작하여 사용하였다. '생각하는 과학'을 가르치고자 하는 교사들은 주로 교사연수를 통해 CASE 교수전략과 가

르칠 내용을 익혔으며, 개별적인 모임이나 CASE 홈페이지와 전자우편을 통한 교류로 활동의 취지와 교사의 역할 등을 익혔다.

'생각하는 과학'에 있는 6가지 변인통제 활동의 내용과 투입순서는 Table 1과 같다.

4. 자료 수집

1) 인지수준 검사

인지수준을 판단하는 도구로는 영국 Chelsea 대학의 CSMS(The Concepts in Secondary Mathematics & Science)팀이 개발한 과학적 사고력 검사 (Science Reasoning Tasks, 이하 SRT라 약함)를 사용하였다. 현재까지 개발된 7종류(SRT I - VII)의 검사도구 중 주로 구체적 조작기와 과도기에 있는 초등학교 5학년, 11세 아동들의 인지수준을 검사하는데 SRT II가 적절하다고 판단되어 선택하였다. 과학교육 전문가들로 구성된 CASE 연구팀에서 번역하고, 도구들을 직접 제작하여 예비검사를 거쳐 수정, 보완하여 사용하였다. SRT II는 질량과 부피보존에 관한 14개의 문항으로 구성되어 있으며(Adey & Shayer, 1994a; 최미화, 2002) 검사는 모든 학생이 잘 볼 수 있는 크기의 기구를 사용하여 절차에 따라 시범실험을 보여 주고, 질문에 답하도록 되어 있다. 학생의 이해를 돕기 위해 각 문항마다 실험과 관련 있는 그림이 실려 있으며, 검사에 소요되는 시간은 50분이다. 이 검사의 신뢰도는 K-R의 신뢰계수  $r = 0.78$ 이고, 검사-재검사 상관관계는  $r = 0.64 \sim 0.85$ 이다(Shayer, 1978; Shayer & Wylam, 1978; Adey & Shayer,

Table 1. List of the variable-controlling activities in the 'Thinking Science'

Order	Title	Contents
1	1. What varies?	· variables, values, relationship
2	2. Two variables	· cause and effect variables
3	3. The 'fair' test	· relationship, non-relationship
4	4. What sort of relationship?	· modeling by plotting graph
5	5. Roller ball	· multi-variable problems
6	16. Interaction	· interaction between two variables

1994b). SRT II 검사로 가능한 논리적 사고 발달단계의 측정 범위는 1~3A 수준까지이다. 이 연구에서는 일반적으로 분류해온 인지수준 발달단계를 세분화한 Genevan 척도(Adey & Shayer, 1994b)를 사용하여 자료를 분석하였다(Table 2).

**Table 2.** Refined Genevan scale for the piagetian's cognitive levels

Stage	Level	Symbol	Scale Number
Concrete	Early	2A	3
	Mid	2A/2B	4
	Mature	2B	5
	Generalization	2B/3A	6
Formal	Early	3A	7
	Mature	3A/3B	8
	Generalization	3B	9

## 2) 변인통제능력 검사

학생들의 변인통제능력을 알아보기 위한 문항개발에 앞서 변인통제 과정에서 학생들이 문제에 대해 느끼는 어려움과 변인통제 관련 문제를 해결하는 과정을 조사한 후 검사도구를 개발하였다. 선행연구들을 참고하고, 이수진(2000)이 개발한 변인찾기 검사를 기초로 하여 문항을 제작하였다. 먼저 변인의 수, 변

인의 성질, 개념의 친숙도 등을 고려하여 문항의 수준을 조절하고, 특정개념의 적용을 요하는 문항은 배제하였다. 학생들의 변인통제 문제 해결과정을 보기 위해 문제상황과 그림을 주고 학생들 스스로 변인을 찾고 실험을 설계하여 그 과정을 표현하도록 열린 문항형태로 제시하였다. 문제를 해결하는 과정을 실제 실험이 아닌 지필검사 형태로 측정함으로써 발생하는 문제점을 최소화하기 위해 변인판별과 실험설계를 구분하여 서술식 문항으로 제시하였다(Table 3). 변인판별 단계에서는 원인, 결과, 고정변인을 확인하고, 실험설계 단계에서는 실험조건 통제와 변인을 측정하는 내용으로 구성하였다(김희성, 2002). 개발된 변인통제능력 검사는 과학교육 전문가들로 구성된 CASE 연구팀에서 여러 차례 논의를 거쳐 내용타당도를 검증 받았다. 검사도구에 대한 기억효과와 연습효과를 최소화하기 위해 사전, 중간, 그리고 사후검사로 동형검사를 이용했다. 소재는 다르나 동일한 내용을 측정하고, 난이도와 변별도가 유사한 문항을 개발하여 예비검사를 거친 후 문항간 일치도가 높은 일부 문항을 선정하였다. 동형검사간의 상관계수는 0.76이었으며, Cronbach's  $\alpha$  신뢰도계수는 0.64이고, 과학교육계에서 자주 이용되는 검사도구 GALT 문항 중 변인통제 영역의 문항을 사용하여 얻은 공인타당도는 0.71로 나타났다.

**Table 3.** Construction of the variable-controlling test

Contents	Items	Evaluation	Grade	Number of questions
Identifying variables	Causal	success	1	3
		fail	0	
	Result	success	1	3
		fail	0	
Designing experiment	Control of experimental condition	perfect	2	3
		partial success	1	
		fail	0	
	Measurement	success	2	3
partial success		1		
fail		0		

### Ⅲ. 연구 결과 및 논의

#### 1. 집단별 변인통제능력 분석

변인통제 학습활동을 처치하기 전에 실험반과 통제반을 대상으로 실시한 변인통제능력 검사결과는 Table 4에서와 같이 통제반의 변인통제능력이 실험반보다 약간 높았으나 t-검증 결과 유의미한 차이는 없었다.

**Table 4.** Comparison of the pre variable-controlling ability

Group	n	M	SD	t	p
Experimental	146	34.0	19.0	-0.194	0.846
Control	160	34.4	16.0		

사전 변인통제능력 검사 결과, 연구에 참여한 집단이 동질한 것으로 판명되고 비교집단으로 적절함이 판명되어 학습효과를 Effect Size로 계산하였다. Effect Size는 (Me-Mc)를 표준편차의 단위로 표현한 것으로, Me는 실험반의 사후평균을, Mc는 통제반의 사후평균을 의미한다(Glass *et al.*, 1981; Cohen,

1988). Effect Size 0.5는 실험반의 평균점수가 통제반의 평균점수보다 0.5 $\sigma$  향상됨을 의미한다( $\sigma$ 는 통제반의 표준편차 임). 즉 실험반에서 상위 50%에 해당하는 점수가 통제반에서는 상위 31%에 해당하는 것으로, 유의미한 처치효과가 나타난 것으로 판정된다. 1.0은 실험반에서 상위 50%에 해당하는 학생의 점수가 통제반에서는 상위 16%에 해당함을 의미하며, 0.8 이상인 경우 상당한 학습효과가 나타난 것으로 해석하고 있다(Adey & Shayer, 1994b). 일반적으로 교육계에서는 0.2 이하일 경우 유의미한 교육효과가 나타나지 않은 것으로 해석하고 있다.

'생각하는 과학' 활동을 실험반에 지도한 후 집단별 변인통제능력 검사 결과를 분석하여 학습의 효과를 Effect Size(이하 ES로 약함)로 요약하면 Table 5와 같다. 사전검사에서는 집단간 차이가 없는 것으로 나타났으나 중간검사에서는 실험반의 평균상승이 통제반보다 높았고(+12.9), 학습효과도 유의미하게 나타났다(ES=0.69). 이러한 경향은 사후검사에서도 마찬가지로 나타났으며(+16.8) 처치효과(ES=0.92)는 더욱 크게 나타났다.

Table 6은 남·여학생들의 사전 변인통제능력을 비교한 것으로 실험·통제반 모두 여학생들이 월등히

**Table 5.** Comparison of the effects on variable-controlling ability

Test	Group	n	M	SD	ES*	t	p
Mid	Experimental	143	60.2	21.0	0.69	5.728**	0.000
	Control	160	47.3	18.9			
Post	Experimental	145	66.1	17.0	0.92	8.210**	0.000
	Control	153	49.3	18.3			

\*ES: Effect Size \*\*p < .05

**Table 6.** Comparison of the pre variable-controlling ability by gender

Group	Gender	n	M	SD	t	p
Experimental	Boy	73	27.8	20.0	-4.134*	0.000
	Girl	73	40.1	15.9		
Control	Boy	75	31.1	15.7	-2.496*	0.014
	Girl	85	37.3	15.7		

\*p < .05

높은 점수를 보였다.

Table 7은 남·여학생별 학습효과를 비교한 것으로 여학생들에 비해 남학생들의 학습효과가 늦게 나타나기는 했지만 effect size를 비교한 결과 거의 같은 정도의(중간:사후=0.95:0.10) 우수한 학습효과가 나타났다. t 검증 결과, 실험반 남·여학생들의 변인통제 능력의 차이는 사전에 -4.134로 나타났던 것이 사후 검사에서는 -2.074로 격차가 많이 줄어든 것으로 나타났다. 변인통제능력 검사결과와 남녀별 상호작용을 분석하기 위해 이원공변량 분석결과 처치활동에 따른 주효과는 컸으나, 유의미한 상호작용 효과는( $MS = 18.57, F = .798, p = .372$ ) 나타나지 않았다.

## 2 변인통제 능력의 하위요소 분석

‘생각하는 과학’ 활동이 변인통제능력의 하위요소인 원인변인, 결과변인, 실험조건 통제와 변인측정 학습에 효과가 있었는지 알아보기 위해 변인검사 결과를 변인판별 과정과 실험설계 과정으로 나누어 분석한 결과는 Table 8과 Table 9와 같다.

변인판별 과정에서는 원인, 결과, 고정변인을 확인하고, 실험설계 과정에서는 실험조건 통제와 변인을 측정하는 내용으로 구성되어 있다.

원인변인을 찾는 문항에 대한 사전검사에서는 실험반이 통제반보다 다소 낮은 것(-1.8)으로 나타났으나

**Table 7.** Comparison of the mid and the post variable-controlling ability by gender

Test	Gender	Groups	n	M	SD	t*
Mid	Boy	Experimental	72	56.0	23.3	0.65
		Control	75	42.5	20.7	
	Girl	Experimental	71	64.5	16.6	0.81
		Control	85	51.5	16.0	
Post	Boy	Experimental	73	61.5	19.0	0.95
		Control	70	44.1	18.3	
	Girl	Experimental	72	70.8	13.3	1.00
		Control	83	53.7	17.2	

\* $p < .05$

**Table 8.** Comparison of the ability for identifying variables

Variable	Groups	Mid	ES	Post	ES	
Causal	Experimental	n	143	0.54	145	0.38
		M	84.4		86.4	
		SD	36.1		22.4	
	Control	n	160	153		
		M	66.7	74.2		
		SD	33.1	32.0		
Result	Experimental	n	143	0.27	146	0.65
		M	84.3		91.3	
		SD	28.9		24.1	
	Control	n	160	154		
		M	75.6	70.6		
		SD	32.2	32.0		

**Table 9.** Comparison of the ability for designing experiment

Variable	Groups	Mid	ES	Post	ES	
Causal	Experimental	n	143	0.66	146	0.80
		M	56.5		64.5	
		SD	35.9		32.4	
	Control	n	160	153		
		M	38.9	42.9		
		SD	26.6	27.1		
Result	Experimental	n	143	0.51	146	0.71
		M	15.7		22.4	
		SD	29.8		31.6	
	Control	n	160	154		
		M	7.7	9.5		
		SD	15.7	18.3		

t-검증 결과( $t = -.768, p > 0.05$ ) 유의미한 차이는 아니었다. 중간검사부터 월등한 차이(+17.7)를 보이며 실험반에 투입한 처치효과( $ES = 0.54$ )가 높은 것으로 나타났다(Table 8). 이러한 증가추세가 다소 줄어들기는 했으나 사후검사에서 실험반이 높은 점수(+12.2)를 보였고, 변인활동의 학습효과( $ES = 0.38$ )가 있는 것으로 나타났다.

결과변인에 대한 사전검사에서는 실험반이 통제반보다 다소 높은 것(+1.3)으로 나타났으나 t-검증 결과( $t = .448, p > 0.05$ ) 유의미한 차이는 아니었다. 중간검사에서 실험반이 높은 점수(+8.7)를 보였으나 변인활동의 효과( $ES = 0.27$ )는 거의 없었던 것으로 나타났다. 이런 차이는 더욱 증가하여 사후검사에서는 실험반이 월등히 높은 점수(+20.7)를 보였고, 변인활동으로 인한 결과변인 학습( $ES = 0.65$ )이 잘 이루어진 것으로 나타났다.

실험설계 단계에 있는 실험조건 통제에 대한 문항에서는 사전검사에서 실험반이 통제반보다 다소 낮은 것(-1.0)으로 나타났으나 유의미한 차이( $t = -.300, p > 0.05$ )는 아니었다. 중간검사에서부터 월등한 차이(+17.6)로 실험반이 높은 결과를 보였으며, 사후검사에서 실험반이 월등히 높은 점수(+21.6)를 보이며 결과적으로 변인활동으로 인한 실험조건 통제에 대한 학습효과( $ES = 0.80$ )가 아주 우수한 것으로 나

타났다(Table 9).

측정요소를 찾는 문항에서는 실험반의 사전검사 점수가 통제반보다 높았으며(+1.0) 유의미한 차이가( $t = .769, p < 0.05$ ) 있는 것으로 나타났다. 중간검사에서 실험반이 높은 점수(+8.00)를 보였고 이런 차이는 더욱 증가하여 사후검사에서는 실험반이 월등히 높은 점수(+12.9)를 보이면서 결과적으로 변인활동으로 인한 측정요소에 대한 학습효과( $ES = 0.71$ )가 우수한 것으로 나타났다.

### 3. 인지수준별 변인통제능력 분석

실험반과 통제반의 인지수준을 비교하기 위하여 변인통제 활동을 학습하기 전에 SRT II를 사용하여 집단간 인지수준의 동질성을 조사하였다. SRT II의 인지수준 판정 범위인 전조작기(2A 미만)에서 형식적 조작기(3A)까지 6단계를 Table 2에 보인 Genevan 척도에 따라 정량화하여 그 분포를 알아보았다. Table 10에서와 같이 양쪽 집단의 인지수준은 평균적으로 중기 구체적 조작기(2A/2B)에 있었으며, 통제반의 평균이 실험반보다 높았고, t-검증 결과 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

변인통제 활동을 지도하기전 학생들의 사전 인지수준 분포를 집단별로 비교한 Fig. 2를 보면 전체적으



**Table 10.** Comparison of cognitive levels for the students

Group	n	M	SD	t	p
Experimental	146	3.81	1.01	-2.155*	0.032
Control	160	4.08	1.15		

\*p < .05

로 중기 구체적 조작기인 2A/2B(실험 45.2:통제 43.8)가 가장 많았으며, 다음으로 전기 구체적 조작기인 2A(실험 24.0:통제 16.3)와 후기 구체적 조작기인 2B(실험 17.8:통제 18.1) 순으로 비슷한 경향을 보였다. 실험반은 전기 구체적 조작기(2A)에서 통제반(16.3%)보다 많은(24.0%) 분포를 보였으며, 통제반은 2B/3A에서 실험반(0.7%)보다 많은 것(10.0%)으로 나타났다. 결과적으로 실험반의 87.7%와 통제반의 88.2%가 구체적 조작기에 있는 것으로 나타났으

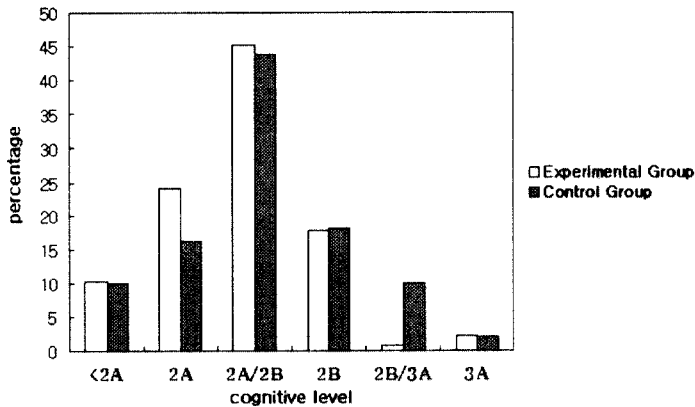
며 평균적으로 양쪽 집단 모두 중기 구체적 조작기에 있는 것으로 나타났다.

Table 11은 남·여학생들의 인지수준을 비교한 것으로 실험·통제반 모두 t-검증 결과 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

학생들의 인지수준에 따라 처치효과가 어떻게 나타나는가를 알아보기 위해 인지수준에 따라 변인통제능력 신장을 분석한 결과는 Table 12와 같다.

중기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B)에 있는 학생들에 대한 처치효과를 분석한 결과 1.0<sub>o</sub> 이상의 Effect Size를 보였다. 이는 실험반에서 상위 50%에 해당하는 학생의 점수가 통제반의 상위 16%에 해당하는 것으로, 유의미한 처치효과가 나타난 것으로 판정된다.

전기 구체적 조작기(2A) 학생들의 중간검사서 변인통제 교육효과는 아주 뛰어난 것(ES=0.92)으로



**Fig. 2.** Distribution of the cognitive levels of students by pre-SRT II test

**Table 11.** Comparison of cognitive levels for the students by gender

Group	Gender	n	Mean	SD	t*	p
Experimental	Boy	73	3.86	1.00	0.657	0.512
	Girl	73	3.75	1.01		
Control	Boy	75	4.12	1.14	0.465	0.643
	Girl	85	4.04	1.16		

\*p < .05

Table 12. Comparison of the variable-controlling ability by cognitive level

Level	Group	Mid				Post			
		n	M	SD	ES	n	M	SD	ES
<2A	Experimental	15	39.0	25.9	0.33	15	49.4	15.8	0.64
	Control	16	32.8	18.9		16	34.8	22.9	
2A	Experimental	34	60.8	23.3	0.92	35	64.3	17.6	0.76
	Control	25	42.4	20.0		26	51.3	17.0	
2A/2B	Experimental	65	62.0	17.8	0.68	66	68.1	15.3	1.07
	Control	70	49.8	17.9		66	50.6	16.3	
2B	Experimental	25	64.9	12.1	0.93	26	70.8	15.9	1.03
	Control	29	49.0	17.6		27	50.6	19.7	
2B/3A	Experimental	1	62.5	.	NA*	1	71.9	.	NA
	Control	16	51.4	17.1		16	51.2	17.1	
3A	Experimental	3	83.3	4.8	NA	3	83.3	11.8	NA
	Control	3	67.7	4.8		3	60.4	7.2	

\*NA: Non-Applicable

나타났다. 이러한 효과가 다소 줄어들기는 했으나 사후검사에서 실험반의 변인통제능력 향상이 현저하게(ES=0.76) 나타났다. 이로 미루어 전기 구체적 조작기의 학생들에게는 후반에 실행한 3가지 활동보다 전반기의 변인활동이 더 적절했던 것으로 해석된다.

다른 수준의 학생들과 비교하면 낮은 정도이지만 실험반에 있는 전조작기 학생들에게도 좋은 효과가 나타났다.

과도기(2B/3A) 학생들에 대한 변인통제 활동효과는 통제처리 할 수 있는 한계에 미달하여 의미 있는 해석이 불가능하다.

소수에 불과하지만 이미 형식적 조작기(3A)에 도달한 학생들의 사전-중간-사후검사 결과를 비교한 결과 '생각하는 과학'에 있는 변인활동 3가지로도 변인통제능력이 충분히 향상된 것으로 나타났다. 통제처리 할 수 있는 한계를 벗어나 의미 있는 해석이 불가능하지만, 이들에게는 좀 더 발전된 내용의 변인통제 활동이 별도로 필요한 것으로 나타났다.

위의 결과를 종합해보면, 모든 인지수준에서 실험반 학생들의 변인통제능력이 향상된 것으로 나타나 '생각하는 과학'에 있는 변인활동에 대한 효과가 입증되

었다. 특히 11세 아동들이 주로 분포되어 있는 2A, 2A/2B, 2B 인지수준의 실험반 학생들이 변인통제능력에 있어 지속적인 처치효과를 보였다. 이러한 결과는 '생각하는 과학'의 변인통제 학습 활동은 인지수준이 전기 구체적 조작기에서 과도기에 있는 초등학교 5학년 학생들에게 아주 적합했음을 보여준다. 구체적 조작기에 있는 학생들의 변인통제능력을 향상시켜 인지수준을 높이려는 CASE 프로그램의 목표(Adey & Shayer, 1990; Adey et al., 1995)가 적절히 반영되고 있는 것으로 해석된다.

변인통제능력 검사 결과를 변인판별 단계와 실험설계 단계로 나누어 인지수준별로 분석한 결과는 Table 13과 Table 14와 같다. 변인판별 능력검사에서는 전기 구체적 조작기(2A), 전기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B)에 있는 학생들이 거의 같은 수준의 학습효과를(ES=0.61:0.67:0.65) 보여주었다. 중간검사 결과 과도기(2B/3A)와 형식적 조작기(3A)에 있는 학생들은 이미 학습목표에 도달한 것으로 나타났다. 반면 통제반의 과도기(2B/3A)와 형식적 조작기(3A)에 있는 학생들은 같은 집단 내의 다른 인지수준의 학생들보다 변인판별 능력이 우수했으나 불

**Table 13.** Comparison of the ability for identifying variables by cognitive level

Level	Group	Mid				Post			
		n	M	SD	ES	n	M	SD	ES
〈2A	Experimental	15	55.8	37.1	0.20	15	70.8	22.5	0.38
	Control	16	50.0	29.2		16	55.5	39.8	
2A	Experimental	34	88.2	36.4	0.84	35	87.5	22.3	0.61
	Control	26	63.5	29.4		25	74.5	21.2	
2A/2B	Experimental	65	84.4	23.9	0.31	65	92.1	16.0	0.67
	Control	70	75.7	27.7		66	75.4	25.0	
2B	Experimental	25	93.5	13.6	0.81	26	90.9	14.4	0.65
	Control	29	70.7	28.2		27	71.3	30.4	
2B/3A	Experimental	1	100	.	NA*	1	100	.	NA
	Control	16	80.5	23.3		16	71.9	28.0	
3A	Experimental	3	100	0	NA	3	100	0	NA
	Control	3	100	0		3	91.7	7.2	

\*NA: Non-Applicable

**Table 14.** Comparison of the ability for designing experiment by cognitive level

Level	Group	Mid				Post			
		n	M	SD	ES	n	M	SD	ES
〈2A	Experimental	15	22.1	16.7	0.38	15	27.9	16.0	1.24
	Control	16	15.6	17.2		16	14.1	11.1	
2A	Experimental	34	33.3	18.8	0.86	35	41.1	22.1	0.68
	Control	26	21.4	13.9		25	28.0	19.4	
2A/2B	Experimental	65	39.5	19.0	1.00	66	44.2	21.1	1.15
	Control	70	23.8	15.8		67	25.7	16.1	
2B	Experimental	25	36.3	14.2	0.61	26	50.7	22.4	1.01
	Control	29	27.4	14.5		27	29.9	20.5	
2B/3A	Experimental	1	25.0	.	NA*	1	43.8	.	NA
	Control	16	22.3	16.6		16	30.5	14.2	
3A	Experimental	3	66.7	9.5	NA	3	66.7	23.6	NA
	Control	3	35.4	9.5		3	29.2	19.1	

\*NA: Non-Applicable

안정한 상태에 있음을 알 수 있다.

실험조건 통제와 변인추정 능력을 포함하고 있는 실험설계 능력검사에서는 전기 구체적 조작기(2A)에

있는 학생들이 다른 수준의 학생들 보다 다소 낮은 효과를 보이기는 했으나 의미 있는 발전을 보였다. 중기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기

(2B)에 있는 학생들은 물론 예외적으로 전기 구체적 조작기(2A) 미만의 학생들에게서 거의 같은 수준의 상당한 학습효과(ES=1이상)가 나타났다. 그러나 사전-중간-사후 실험설계능력 검사에 나타난 평균값들(29.4-34.6)은 원인변인과 결과변인을 확인하는 변인 판별 능력 검사 결과(77.4-80.4)와 비교하면 아주 낮은 점수이며, 전반적으로 초등학교생들의 실험설계 능력이 상당히 뒤떨어져있는 것으로 나타났다.

#### IV. 결론 및 제언

과학교과 내용이 요구하는 인지수준과 학생들의 인지수준이 맞지 않아 생기는 문제점을 극복하는 적극적인 대처방안으로 학생들의 인지발달을 촉진시켜 과학교과 내용의 이해를 돕기 위해 개발된 '생각하는 과학'의 변인통제 학습활동을 점검했다.

실험반에 처치한 변인통제 활동은 초등학교 5학년 학생들의 변인통제 학습에 매우 효과적인 것(ES=0.92)으로 나타났다.

남·여학생들의 변인통제능력을 비교한 결과 실험·통제반 모두 여학생들이 월등히 높은 점수를 보였다. 중간검사와 사후검사를 종합하면 여학생들에 비해 남학생들의 학습효과가 늦게 나타나기는 했지만, 결과적으로는 거의 같은 정도의(0.95:1.00) 우수한 학습효과가 나타났다. 변인통제능력 검사 결과와 남녀별 상호작용을 분석하기 위해 이원공변량 분석결과 변인활동 처치에 따른 주효과는 컸으나 유의미한 상호작용 효과는(MS=18.57, F=.798, p=.372) 나타나지 않았다.

변인통제능력을 구성하는 하위요소별로 초등학교생들의 변인통제능력 신장을 조사한 결과, 특별히 실험조건 통제(ES=0.80), 변인추정(ES=0.71)과 결과변인(ES=0.65) 학습에 매우 효과적인 것으로 나타났고, 원인변인 학습효과(ES=0.38)도 다소 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 처치활동이 초등학교 5학년 학생들의 변인통제 학습에 효과적임이 판명되었으나 원인변인을 이해하는데는 다소 미흡했던 것으로 나타났다. '생각하는 과학'에 제시된 변인활동에서 원인변인과 관련된 내용을 재점검하는 것이 바람직하리라

판단된다.

학생들의 인지수준에 따라 변인통제능력 신장을 분석한 결과, 모든 인지수준에서 실험반 학생들의 변인통제능력이 향상되었다. 특히, 전기 구체적 조작기(ES=0.76), 중기 구체적 조작기(ES=1.07)와 후기 구체적 조작기(ES=1.03)에 있는 학생들에게서 변인활동 처치에 대한 학습효과가 상당히 높았다. 변인판별 능력검사에서는 전기 구체적 조작기(2A), 중기 구체적 조작기(2A/2B)와 후기 구체적 조작기(2B)에 있는 학생들이 거의 같은 수준에서 우수한 학습효과를(ES=0.61:0.67:0.65) 보여주었다. 한편, 실험설계능력검사에서는 모든 수준에서 상당한 학습효과(ES=0.68 이상)가 나타났으나, 모든 검사에 나타난 낮은 평균값들(29.4-34.6)로 미루어 기본적인 실험설계 능력이 상당히 뒤떨어져 있음을 알 수 있었다. 이 분야에 대한 문제점은 좀 더 장기적으로 면밀히 관찰할 필요성이 보인다.

이상의 연구 결과는 처치에 사용된 '생각하는 과학'의 변인통제 학습활동은 대부분이 구체적 조작 단계에 있는 초등학교 5학년 학생들의 변인통제능력 향상에 효과적임을 가리키는 것이며, 구체적 조작기에 있는 학생들에게 과학교수-학습교재인 '생각하는 과학'에 있는 활동을 수행하게 하여 형식적 조작이 가능하게 한다는 CASE 프로그램의 목표(Adey et al., 1995)가 적절히 반영된 것으로 해석된다. 이것은 다른 한편, 현행 우리나라 과학교육과정에 있는 변인과 관련된 학습내용과 지도방법에 문제가 많음을 드러내는 결과이기도하다. 본 연구는 현행 과학교육과정에 부족한 변인통제에 대한 훈련 및 학습 기회를 제공한다는 점에서 그 의의가 있다 하겠다.

#### 적 요

형식적인 사고를 가능하게 하는 논리적 사고력의 형성 가능성에 대한 기초적인 연구 활동의 하나로, '생각하는 과학' 프로그램에 있는 변인통제 활동의 학습효과를 조사하였다. 초등학교 5학년 306명의 학생들이 연구에 참가하였으며, 같은 분량의 시간에 실험반에서는 교육과정에 따른 과학 교과 수업과 변인

통제 활동을 병행하였고, 통제반에서는 과학교과 수업만을 수행하였다. 연구 초기에 논리적 사고력 검사와 변인통제 검사를 이용하여 사전 상태를 비교하고, 한 학기 동안 변인통제 활동 6개를 12차시에 걸쳐 진행하면서, 처치별, 성별, 인지수준별 학습효과를 알아 보았다.

처치활동은 초등학교 5학년 학생들의 변인통제능력 신장에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 변인통제능력의 하위요소별로 분석한 결과, 특별히 실험조건 통제, 변인측정과 결과변인 학습에 매우 효과적인 것으로 나타났고, 원인변인 학습효과도 다소 있는 것으로 나타났다.

남·여학생들의 사전 변인통제능력을 비교한 결과 여학생들이 월등히 높은 점수를 보였다. 변인통제 학습 후 남·여학생들 모두에게 거의 같은 정도로 우수한 학습효과가 나타났으며, 통제반에서 차이가 더 벌어진 반면, 실험반에서는 그 격차가 좁혀졌다.

학생들의 인지수준에 따라 변인통제 학습효과를 분석한 결과, 모든 인지수준에서 실험반 학생들의 변인통제능력이 상당히 향상되었다. 특히 전기 구체적 조작기, 중기 구체적 조작기와 후기 구체적 조작기에 있는 학생들의 변인통제능력은 크게 향상되었다. 변인판별 능력은 전기 구체적 조작기, 중기 구체적 조작기와 후기 구체적 조작기에 있는 학생들이 거의 같은 정도의 우수한 발전을 보여주었으며, 실험설계 능력은 모든 수준에서 상당히 향상되었다. '생각하는 과학'의 변인통제 활동과 같은 형태의 학습내용을 현행 학교 과학교육에 적극적으로 도입해볼 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- 강순희, 박종윤, 우애자, 허은규(1996). 중학교 화학개념이 요구하는 과학적 사고력 수준과 학생들의 인지수준을 고려한 교수방안에 관한 연구(제1보). 화학교육, 23(4), 267-278.
- 강순희, 박종윤, 정지영(1999). 학습자의 인지수준과 학습내용의 인지요구도를 고려한 중등화학 학습 전략 개발에 대한 연구. 화학교육, 43(5), 578-588.
- 김영식(1999). 학생의 인지발달 수준에 따른 변인통제능력의 형성과 특수 전이 효과에 대한 연구. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 김영준(2001). CASE 프로그램의 적용과정에서 아동의 인지수준과 아동-교사의 상호작용이 문제해결 결과 논리적 사고력에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사 학위 논문.
- 김현재(1991). 과학교육을 통한 인지가속 교육과정자료의 개발 연구. 한국초등과학교육학회지, 10(1), 59-112.
- 김현재, 장경례(1991). 인지가속자료 적용을 통한 논리적 사고의 지도 효과. 한국초등과학교육학회지, 10(2), 159-173.
- 김희성(2002). CASE 변인활동이 초등학생의 인지수준에 따라 변인통제 능력 발달에 미치는 영향. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 남정희, 김성희, 강순희, 박종윤, 최병순(2002). 변인통제 문제해결 활동에서 학생들의 인지수준에 따른 상호작용 분석. 한국과학교육학회지, 22(1), 110-121.
- 문홍무, 최병순(1987). 고등학생들의 지적 발달 수준과 화학 교과 내용이 요구하는 조작 수준과의 관계 연구. 화학교육, 14(2), 116-127.
- 박종윤, 강순희(1996). 고등학교 과학 II(하) 교과서 내용이 요구하는 논리적 사고력 수준과 학생들의 인지수준 비교 연구(제2보). 화학교육, 23(5), 335-344.
- 박종윤, 강순희, 김선영, 김성희, 김인주, 이자현(1993). 고등학교 화학 교과서 내용이 요구하는 과학적 사고력 수준과 학생들의 인지수준 비교 연구(제1보). 화학교육, 20(4), 285-294.
- 이수진(2000). 학습자 특성과 문제상황에 따른 초등학생의 변인확인 능력. 한국교원대학교 석사 학위 논문.
- 최병순(1987). 학생들의 인지수준과 구체적 및 형식적 과학 교과 내용과의 관계 분석. 화학교육학회지, 14(1), 30-42.
- 최병순, 최미화(1998). CASE 프로젝트 고찰. 화학교육, 25(4), 228-232.

- 최병순, 허명(1987). 중학생들의 인지수준과 과학 교과 내용과의 관계 분석. 한국과학교육학회지, 7(1), 19-32.
- 최미화(2002). 'Thinking Science' 활동이 중학생의 인지 가속에 미치는 효과 및 인지수준과 동기 유형에 따른 문제해결과정 분석. 한국교원대학교 박사 학위 논문.
- 한중하, 최돈형, 김영민(1982). 중·고등학교 학생의 과학적 사고발달에 관한 연구. 연구보고서, 한국교육개발원.
- 한효순(2001). 인지가속 수업 전략에 따른 화학 수업 설계. 화학교육, 28(3), 40-47.
- 홍현수(2001). 변인통제에 관한 과학 수업에서 학생들의 동기 수준에 따른 언어적 상호작용의 질적 분석. 이화여자대학교 석사 학위 논문.
- AAAS (1963). *Science: A process approach*, part 4. American Association for Advancement of Science, Commission on Science Education: Washington, D. C.
- Adey, P. & Shayer, M.(1990). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students. *Journal of Research in Science teaching*, 27(3), 267-285.
- Adey, P. & Shayer, M.(1994a). *Thinking Science INSET*. Routledge: London.
- Adey, P. & Shayer, M.(1994b). Really raising standards: *Cognitive intervention and academic achievement*. Routledge: London.
- Adey, P., Shayer, M., & Yates, C.(1995). *Thinking Science*. 2nd ed. Nelson & Sons Ltd: London.
- Cohen, J.(1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ.
- Duggan, S., Johnson, P., & Gott, R.(1996). A critical point in investigative work: Defining variables. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 461-474.
- Germann, P. J., Aram, R., & Burke, G.(1996). Identify patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skill of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 79-99.
- Germann, P. J., & Odom, A. L.(1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science & Mathematics*, 96(4), 192-202.
- Glass, G. V., McGaw, B., & Smith, M. L. (1981). *Meta-analysis in social research*. Sage: Beverly Hills, CA.
- Griffiths, A. K. & Thompson, J.(1993). Secondary school students' understandings of scientific processes: An interview study. *Research in Science and Technological Education*, 11(1). <http://ehostweb2.epnet.com/fulltext.asp>
- Inhelder, B. & Piaget, J.(1958). *The growth of logical thinking*. Basic Books: New York.
- Karplus, R.(1977). *Science teaching and the development of reasoning*. University of California: Berkely, CA.
- Linn, N. C.(1980). When do adolescents reason? *European Journal of Science Education*, 2(4), 429-440.
- McGuinness, C.(1999). *From thinking skills to thinking classroom: A review and evaluation of approaches for developing pupils' thinking*. Research Report No. 115, London.
- Piaget, J. & Inhelder, B.(1974). *The child's construction of quantities*. Routledge and Kegan: London.
- Shayer, M.(1972). *Piaget's work and science teaching*. M. Ed., University of Leicester.
- Shayer, M.(1978). *A test of the validity of*

- Piaget's model of formal operational thinking*. PhD thesis, University of London.
- Shayer, M. & Wylam, H.(1978). The distribution of Piagetian stages of thinking in British middle and secondary school children. II - 14- to 16-year-olds and sex differentials. *British Journal of Educational Psychology*, 48, 62-70.
- Shayer, M. & Adey, P. S.(1992a). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school Students II: Project effects on science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 81-92.
- Shayer, M. & Adey, P. S.(1992b). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students III: Testing the permanency of effect. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1101-1115.
- Shayer, M. & Adey, P. S.(1993). Accelerating the development of formal thinking in middle and high school students IV: Three years after a two-year intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 351-366.
- Shayer, M.(1996). *The Long Term Effects of Cognitive Acceleration on Pupil's School Achievement*. <http://www.themerve2.com/ca/Newres.html>.
- Song, J. & Black, P. J.(1992). The effects of concept requirements and task contexts on pupils' performance in control of variables. *International Journal of Science Education*, 14(1), 83-93.
- Wollman, W.(1977). Controlling variables: Assessing levels of understanding. *Science Education*. 61(3), 371-383.